

В заключение отметим, что аналогичный алгоритм определения параметров поверхности может быть основан не на изменении направления подсвета  $\mathbf{n}_i$ , а на изменении на углы  $\alpha_i$  ракурса поверхности относительно оптической оси системы формирования изображения. В этом случае основной сложностью является установление соответствия между точками различных изображений. Однако при небольших углах поворота  $\alpha_i$ , удовлетворяющих неравенству

$$\sin \alpha_i \max Z(x) \ll \Delta,$$

эту операцию можно не осуществлять. Но при этом в (1) необходимо к  $\mathbf{n}_i/2$  добавить вектор, равный проекции единичного вектора нормали к предметной плоскости  $i$ -го изображения на начальную предметную плоскость, относительно которой отсчитывается высота средней поверхности  $Z(x)$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хорн Б. Определение формы по данным о полутонах // Психология машинного зрения/Под ред. П. Уинстопа.— М.: Мир, 1978.
2. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов.— М.: Радио и связь, 1987.
3. Петров А. И. Свет, цвет и форма // Интеллектуальные процессы и их моделирование.— М.: Наука, 1987.
4. Бакут П. А., Кузнецов М. В., Мандросов В. И. Статистические характеристики когерентных изображений плоских объектов // ЖИПФФ.— 1985.— 30, № 3.
5. Бакут П. А., Кузнецов М. В., Мандросов В. И. Оценка параметров неровностей и формы параболических поверхностей по их когерентным изображениям // Автоматика.— 1985.— № 4.
6. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи.— М.: Сов. радио, 1961.
7. Бакут П. А., Мандросов В. И., Матвеев И. Н. и др. Теория когерентных изображений.— М.: Радио и связь, 1987.

*Поступило в редакцию 28 февраля 1989 г.*

УДК 681.7.014.3

С. Н. АНИН, Н. Ф. КОВТОНЮК, А. В. КОСТЮК,  
С. Б. ОДИНОВ  
(Москва)

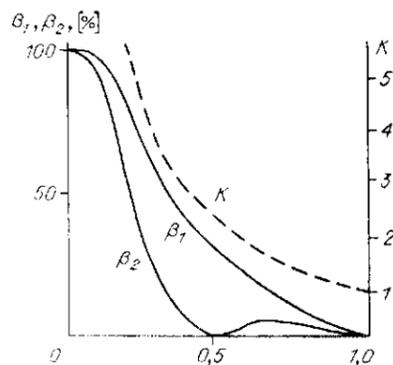
#### МЕТОД СРАВНЕНИЯ СМЕЩЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Обычно выделение движущихся объектов осуществляют путем вычитания изображений [1—3], что требует предварительного совмещения сравниваемых изображений. Рассмотренный в настоящей работе способ сравнения изображений позволяет обнаружить локальные изменения или движущиеся объекты, вектор смещения которых не совпадает с вектором смещения фона, и не требует предварительного совмещения сравниваемых изображений. Для реализации сравнения два последовательных кадра регистрируют на одном пространственном модуляторе света, после чего осуществляют пространственную фильтрацию суммарного изображения. Так как суммарное изображение содержит два одинаковых (но смещенных) фоновых изображения, то его пространственный спектр промодулирован высококонтрастными интерференционными полосами, ориентация и ширина которых определяются вектором смещения  $\Delta$ . Если выделяемая деталь изображения отсутствует на одном из кадров, то ее пространственный спектр интерференционной модуляции не имеет; если же выделяемая деталь движется относительно фона, причем вектор ее смещения отличен от  $\Delta$ , то спектр сигнала имеет интерференционную модуляцию, отличную

© 1990 Анин С. Н., Ковтонюк Н. Ф., Костюк А. В., Одинков С. Б.

7\*

91



Зависимость эффективности фильтрации  $K$  и уровней первого и второго боковых лепестков  $\beta_1$  и  $\beta_2$  от порогового коэффициента  $C$

от модуляции спектра фона. В обоих случаях пространственная фильтрация, заключающаяся в перекрытии ярких интерференционных полос спектра фона, позволяет повысить яркость выделяемых деталей в отфильтрованном изображении.

Пусть изображение пространственно дискретизировано, т. е. состоит из набора случайно расположенных светлых точек на темном фоне. Для определенности будем полагать, что размеры элементов достаточно малы для того, чтобы считать их  $\delta$ -функциями. Полезный сигнал представлен в суммарном изображении одной точкой, а фон —  $N$ -двойными точками. Если отсчеты фоновой компоненты в соседних элементах изображения не коррелированы, т. е. фон представляет собой выборку из «белого» шума, то огибающие пространственных спектров сигнала и фона одинаковы. В этом случае обычная согласованная фильтрация сигнала неэффективна. Выделение сигнала возможно только за счет признака движения, который проявляется в различии интерференционных модуляций спектров сигнала и фона. Тогда пространственный спектр суммарного изображения двух кадров имеет вид

$$G(\mathbf{v}) = \tau_0 + 2N\tau_0 [1 + \cos 2\pi\Delta\mathbf{v}], \quad (1)$$

где  $\tau_0$  — коэффициент пропускания в светлых точках изображения.

Пространственно-частотный фильтр полностью поглощает в тех областях, где интенсивность света в спектральной плоскости превышает пороговое значение  $CI_*$  ( $I_*$  — максимальная интенсивность в спектральной плоскости;  $C$  — коэффициент, определяющий величину порога). В остальных областях фильтр полностью пропускает падающее излучение. При спектре вида (1) такой фильтр представляет собой набор пропускающих щелей, причем ширина каждой щели по пространственной частоте равна

$$\delta v = [1/\pi\Delta] \arccos(1 - 2C).$$

Наличие пространственного фильтра приводит к ослаблению интенсивности элементов в отфильтрованном изображении как фона, так и сигнала, но фон ослабляется сильнее. Эффективность фильтрации можно охарактеризовать коэффициентом, равным отношению коэффициента ослабления интенсивности элемента фона к коэффициенту ослабления интенсивности сигнала. Можно показать, что коэффициент эффективности фильтрации связан с пороговым коэффициентом соотношением

$$K = [1 - \sqrt{1 - (2C - 1)^2} / \arccos(1 - 2C)]^{-1}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что при  $C = 1$ , т. е. при бесконечно узкой щели, эффективность фильтрации стремится к бесконечности. Разумеется, что выигрыш в интенсивности приводит к потере разрешающей способности. Если фильтр содержит  $M$  щелей (для спектра вида (1)  $M$  четное), нормированный импульсный отклик системы в плоскости отфильтрованного изображения имеет вид

$$I'(\xi) = \frac{4}{M^2} \left[ \frac{\sin[\arccos(1 - 2C)\xi/\Delta]}{\arccos(1 - 2C)\xi/\Delta} \right]^2 \left[ \sum_{k=1}^{M/2} \cos \pi(2k - 1)\xi/\Delta \right]^2. \quad (3)$$

Анализ выражения (3) показывает, что ширина главного лепестка импульсного отклика практически не зависит от коэффициента  $C$  и соответственно от ширины щелей. Однако с уменьшением ширины щелей рез-

ко возрастают количество и уровень боковых лепестков. На рисунке приведены рассчитанные по (2) зависимости коэффициента эффективности фильтрации и уровней первого и второго боковых лепестков импульсного отклика от коэффициента  $C$ .

Как видно из приведенных зависимостей, при коэффициенте  $C$  в диапазоне от 0,5 до 0,6 интенсивность отфильтрованного сигнала в 2—2,5 раза превышает интенсивность помехи (при их равенстве в исходном изображении), а уровень боковых лепестков лежит в разумных пределах (первый лепесток — 20—30 %, второй лепесток — до 2 %). Из изложенного можно сделать вывод о возможности использования предложенного способа сравнения изображений в системах технического зрения. Так как усиление сигнала не очень велико, описанную процедуру целесообразно дополнить пороговой обработкой отфильтрованного изображения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров М. П., Степанов С. И., Хоменко А. В. Фоточувствительные электрооптические среды в голографии и оптической обработке информации.— Л.: Наука, 1983.
2. Нагаев А. И., Парыгин В. П., Пашин С. Ю. Обработка изображений при помощи пространственного модулятора света на основе эффекта Поккельса // Квантовая электрон.— 1982.— 9, № 9.
3. Ковтоиук Н. Ф., Киселев Г. Л., Купрейченко В. С., Одинокоев С. Б. Вычитание случайно смещенных изображений на ПВМС с использованием метода дефокусировки // Тез. докл. I Всесоюз. конф. по оптической обработке информации.— Л.: ЛФТИ, 1988.— Ч. II.

Поступило в редакцию 11 октября 1988 г.

УДК 681.2 : 535.42

В. К. АЛЕКСАНДРОВ, Е. В. ГАЛУШКО, В. Н. ИЛЬИН  
(Минск)

#### РАЗМЕРНЫЙ КОНТРОЛЬ ОГРАНИЧИВАЮЩИХ ДИАФРАГМ ПО ДИФРАКЦИИ ФРЕНЕЛЯ

Оптические и оптико-электронные методы измерения диаметра отверстий в диафрагмах микрометрового размера достаточно полно разработаны и находят широкое применение [1]. Наибольшее распространение получил метод измерения по дифракции в дальней зоне (дифракции Фраунгофера). Точность измерения по этому методу зависит от диаметра измеряемых отверстий и с его увеличением (более 500 мкм), вследствие уменьшения эффективных размеров дифракционной картины и трудности ее разрешения, существенно снижается (в первом приближении обратно пропорционально квадрату диаметра). Для повышения точности измерения требуется разработка специальных объективов повышенной сложности с целью получения дифракционных изображений на практически приемлемых расстояниях от плоскости диафрагмы.

В статье рассмотрено использование дифракции в ближней зоне (дифракции Френеля), которое, как показали проведенные исследования, является перспективным для размерного контроля ограничивающих диафрагм микрометрового и миллиметрового диапазонов.

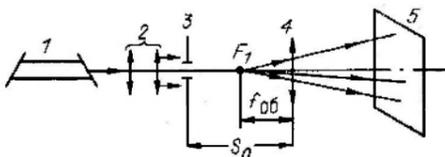


Рис. 1